

Title	NMR studies on superlattices consisting of heavy fermion CeCoIn ₅ and conventional metal YbCoIn ₅ (Abstract_要旨)
Author(s)	Yamanaka, Takayoshi
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2016-03-23
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k19484
Right	学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2017-01-01に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

(続紙 1)

京都大学	博 士 (理 学)	氏 名	山 中 隆 義
論文題目	NMR studies on superlattices consisting of heavy fermion CeCoIn ₅ and conventional metal YbCoIn ₅ (重い電子系人工超格子物質における核磁気共鳴法による研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>山中隆義氏は、博士課程においてCeCoIn₅/YbCoIn₅の人工超格子の物性を核磁気共鳴(NMR)実験より調べ、CeCoIn₅・YbCoIn₅各ブロック層の磁気ゆらぎの性質を個別に明らかにするとともに、CrCoIn₅層の界面では反強磁性ゆらぎが大きく抑えられていることを示した。そして、この界面での反強磁性ゆらぎの抑制の原因として、界面における空間反転対称性の破れに起因するフェルミ面の分裂が磁気ゆらぎの抑制に重要な役割を果たしていることを指摘した。山中氏の研究は、恐らく人工超格子化合物における初のNMR実験であるとともに、微視的な測定であるNMRの実験が人工超格子の物性解明に非常に有効な手段であることを示した極めて重要な研究である。</p> <p>2011年京都大学の松田・寺嶋教授のグループは、重い電子超伝導 CeCoIn₅ と通常金属化合物 YbCoIn₅ を数層ずつ堆積させた人工超格子の作成に初めて成功した。彼らは、重い電子超伝導体の二次元閉じ込めを試み CeCoIn₅ の 3 層の人工超格子で超伝導が見られることを報告するとともに、人工超格子の超伝導の特徴として、超伝導転移温度(<i>T_c</i>)は抑制されるものの超伝導上部臨界磁場(<i>H_{c2}</i>)が bulk 試料よりも高く、超伝導の磁場に対する強さ <i>H_{c2}</i>/<i>T_c</i> は大きく増大することを見いだした。この理由として界面の重要性が指摘されていたが、局所的な測定がないため、詳細は未解明のままであった。</p> <p>山中氏は松田・寺嶋研究室と共同でこの人工超格子の NMR に試みた。まず CeCoIn₅ と YbCoIn₅ のそれぞれの薄膜試料の NMR を行い、各ブロック層の信号がどのあたりに観測されるかを調べ、その後人工超格子の試料の NMR を行なった。その結果、各ブロック層の信号の同定に成功し、それぞれの層で核スピン-格子緩和率(1/<i>T₁</i>)の測定が可能になった。その結果、CeCoIn₅ 層と YbCoIn₅ 層の相関は弱いこと、CeCoIn₅ 層の反強磁性磁気励起は層が薄くなるにつれ弱まっていることを明らかにした。通常、磁性体は低次元化に伴い相関するサイトの減少から磁気ゆらぎは増大すると考えられるが、得られた結果はその予測と反対の結果であった。この矛盾を考えるにあたり YbCoIn₅ 層の厚みは同じで、CeCoIn₅ 層の厚みの異なる人工超格子について NMR 測定を行い、2 つの NMR 信号の差分から CeCoIn₅ ブロック層の内部からの信号と界面からの信号に分けることに成功した。そしてそれぞれの信号で 1/<i>T₁</i> を測定することから、同じブロック層でも内部と界面とに分けて磁気ゆらぎを知ることが出来るようになった。その結果、界面では反強磁性ゆらぎは大きく抑制されていることを突き止めた。これらの結果より山中氏は、人工超格子においては界面がその物性に対し重要な役割を果たしていること、つまり界面では空間反転対称性が破れに起因し反強磁性ゆらぎ</p>			

は

(続紙 2)

抑制されていること、また空間対称性の破れによりスピン一重項超伝導とスピン三重項超伝導の混成のため超伝導は高い磁場まで生き残ることを指摘した。 CeCoIn_5 の超伝導は反強磁性ゆらぎを媒介として引き起こされていると考えられているため、上記の山中氏の明らかにした界面の特徴は、人工超格子の超伝導の特徴をよく説明している。

このように山中君の博士論文の研究内容は、今まで調べることの出来なかった界面の磁気状態を NMR の特徴を活かして明らかにし、関連分野に大きなインパクトを与えるものである。

(論文審査の結果の要旨)

1. 研究目的の評価

山中氏は、重い電子系超伝導体 CeCoIn_5 と通常金属 YbCoIn_5 からなる人工超格子の物性に着目し、各ブロック層の磁気ゆらぎや超伝導の性質を微視的測定である核磁気共鳴実験(NMR)を用いて調べようと試みた。今まで NMR 測定はバルク試料に対して行われ、有用な研究手法であることは確立しているが、今回のような人工超格子の試料に対しての NMR 実験の報告はほとんどない。また重い電子物質の人工超格子への NMR 実験は今回の研究が始めてであり研究意義は極めて高い。

2. 研究手段に関する評価

NMRは物質の電子、磁気状態を原子レベルで知ることが出来る実験手法であり、今回のような原子レベルで層数をコントロールする人工超格子への応用はもし実験が可能であれば大変有意義である。NMRの実験では原子核の信号を観測する必要があるが、その信号強度は原子核の数に比例するためバルク試料に比べ原子数の極端に少ない人工超格子の試料に対しNMR測定が可能かどうかはよくわかっていなかった。山中氏は人工超格子を構成している CeCoIn_5 と YbCoIn_5 のそれぞれの薄膜を作成し単層のNMR信号を観測することから、人工超格子の各層の信号の同定に成功した。また CeCoIn_5 層の厚みを変えた人工超格子を比較することにより、同じ CeCoIn_5 層内でも $\text{CeCoIn}_5/\text{YbCoIn}_5$ の界面に近い領域からの信号と界面から離れた内部からの信号とに分けることにも成功した。これらの実験手法はよく考えられた巧妙な実験である。

3. 結果、考察の評価

山中氏は上記の人工超格子・薄膜のNMRを通し、人工超格子の YbCoIn_5 層の磁気状態は薄膜の YbCoIn_5 とほとんど変わらないことを示した。これは CeCoIn_5 層と YbCoIn_5 層の相関は非常に弱くそれぞれ独立した層と考えられることを意味する。また CeCoIn_5 層では層数を減らしていくと反強磁性ゆらぎが抑制されることも見出した。この原因として、異なる CeCoIn_5 層数の実験から層内部より界面の方で反強磁性ゆらぎが強く抑制されていることを明らかにした。この結果より、界面における空間反転対称性のやぶれに起因した Rashba 相互作用が、反強磁性ゆらぎの抑制や、人工超格子の超伝導の特徴である T_c は抑制されるものの高い超伝導臨界磁場 H_{c2} を持つことを理解する上で重要であることを指摘した。これらの結果は人工超格子における界面の重要性を指摘したものであり学術的にも高い意味を持つ。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 1 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降